

Л. В. МАЙГУР
Военный инженер 3 ранга

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ НАГЕЛЬНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ

Учитывая большое распространение в практике строительства инженерных деревянных конструкций сопряжений на дубовых, болтовых нагелях и гвоздях, а также недостаточное изучение работы таких сопряжений в их натуральную величину, кафедра строительной механики Белорусского Лесотехнического института имени С. М. Кирова поручила старшему Преподавателю военинженеру 3-го ранга Л. В. Майгур произвести научную-исследовательскую работу по экспериментальному и теоретическому исследованию работы нагельных сопряжений и дать выводы имеющие практическое значение в деле проектирования нагельных сопряжений. В целях повышения качества нагельных сопряжений, а также надежности и долговечности этих сопряжений в конструкциях, в результате сделанной работы по испытанию нагельных сопряжений и исследованию их работы, предложено уточнить расчетные формулы, в целях приближения результатов расчета к действительной работе нагельных сопряжений в конструкциях.

ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИСПЫТАНИЮ И ИХ РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

Образец на гвоздях. Образец выполнен из двух сосновых досок, с влажностью до 18%, сечением 30×100 мм и общей длиной 700 мм., поставленных торцами друг к другу и перекрытых накладками из сосновых досок длиной 400 мм и сечением 22×100 мм. По каждую сторону стыка симметрично по десяти гвоздей диаметром 4,3 мм и длиной 95 мм. Гвозди загнуты вдоль волокон древесины. Расстояния между горизонтальными и вертикальными рядами гвоздей соответственно четыре, пятнадцать и двадцать диаметров гвоздя. Допускаемая нагрузка на сопряжение определена по формулам приведенным в Н и ТУП ДК — ОСТ — 90001 — 38 раздел VII

Усилие на один „срез“ гвоздя определено по трем формулам.

$$1) [T_n]' = 0,4 \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{[\sigma_n]_н \cdot [\sigma_{с.м}]_б}$$

где:

$[T_n]'$ — допускаемое усилие на один „срез“ гвоздя

$[d_n]$ — диаметр гвоздя

$[\sigma_n]_н$ — допускаемое напряжение гвоздя на изгиб равное по нормам $3750 \frac{кг}{см^2}$;

$[\sigma_{с.м}]_б$ — допускаемое бортовое напряжение смятия вдоль волокон равное по нормам для в/с сосны $150 \frac{кг}{см^2}$

$$(1) [T_n]' = 0,4 \cdot 0,42^2 \sqrt{3750 \cdot 150} = 55,5 \text{ кг.}$$

$$(2) [T_n]'' = 0,25 \cdot a \cdot d_n \cdot [\sigma_{с.м}]_б;$$

где:

$[T_n]''$ — допускаемое усилие на один „срез“ гвоздя —

a — толщина крайнего элемента —

d_n — диаметр гвоздя

$[\sigma]_{с.м. б}$ — допускаемое бортовое напряжение смятия вдоль волокон равное по нормам $150 \frac{кг}{см^2}$.

$$(2) [T_n]'' = 0,25 \cdot 2,2 \cdot 0,43 \cdot 150 = 35,47 \text{ кг.}$$

$$(3) [T_n]''' = K_{ср} \cdot c \cdot d_n \cdot [\sigma_{с.м}]_б;$$

где:

$[T_n]'''$ — допускаемое усилие на один „срез“ гвоздя

$K_{ср}$ — коэффициент зависящий от симметрии сопряжения —

c — толщина среднего элемента

d_n — диаметр гвоздя

$[\sigma_{с.м}]_н$ — допускаемое бортовое напряжение смятия вдоль волокон принятое по нормам равным $150 \frac{кг}{см^2}$

$$(3) [T_n]''' = 0,21 \cdot 3 \cdot 0,43 \cdot 150 \approx 38,7 \text{ кг.}$$

где:

$$K_{ср} = \frac{0,5}{1 + \frac{c}{K_n \cdot d_n}} = \frac{0,5}{1 + \frac{3}{5 \cdot 0,43}} \approx 0,21;$$

K_n — Коэффициент зависящий от рода нагеля и принятый по нормам для гвоздя равным 5.

За расчетное принимаем наименьшее из трех полученных значений по формулам, которое в данном случае равно 35,47 кг.

Допускаемая нагрузка на сопряжение равна по формуле.

$$N_{зв.} = 2 \cdot [T_n]'' \cdot n$$

где: n — количество гвоздей по одну сторону стыка

$$N_{зв.} = 2 \cdot 35,47 \cdot 10 = \underline{709,4 \text{ кг.}}$$

Описанный выше образец сопряжения на гвоздях был изготовлен в трех экземплярах, которые были испытаны на растяжение на машине А. И. Амслера.

Действительное напряжение в среднем элементе образца при расчетной нагрузке определено по формуле

$$\sigma_p = \frac{N_{зв.}}{F_{netto}} = \frac{709}{(10 - 5 \cdot 0,43)5} \approx 30 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} < \left[90 \right] \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

На рисунках №№ 1 и 2 показано сопряжение на гвоздях.

Сопряжение на гвоздях

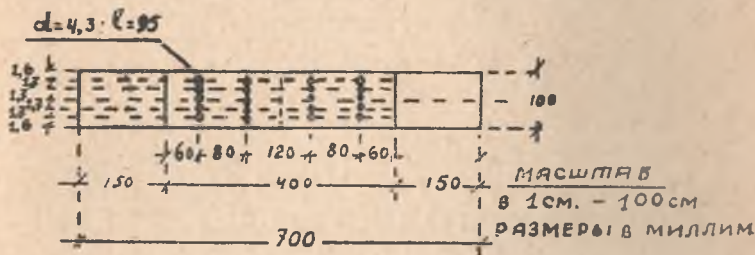


Рис. 1. Фасад.



Рис. 2. План.

Образец на дубовых нагелях. Образец выполнен из двух сосновых досок, с влажностью до 18%, сечением 30×100 мм и общей длиной 750 мм, поставленных торцами друг к другу и перекрытых накладками из сосновых досок длиной 450 мм и сечением 22×100 мм. По каждую сторону стыка симметрично поставлено по четыре цилиндрических дубовых нагеля $d = 15$ мм. и $l_n = 74$ мм.

При этом для плотности сопряжения поставлено три болта $d = 6,35$ мм с гайками и шайбами. Расстояния между горизонтальными и вертикальными рядами дубовых нагелей соблюдено полтора, два с половиной и пять диаметров нагеля. Допускаемая нагрузка на сопряжение определена по формулам приве-

денным в *Н* и *ТУП ДК — ОСТ — 90001 — 1938 г.* раздел стр. 31.

Усилие на один „срез“ дубового нагеля определено по формулам.

$$(1) \quad [T_n]' = 0,4 \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{[\sigma_n]_n \cdot [\sigma_{см}]_б}$$

$$(2) \quad [T_n]'' = 0,25 \cdot d_n \cdot a \cdot [\sigma_{см}]_б;$$

$$(3) \quad [T_n]''' = K_{ср} \cdot c \cdot d_n [\sigma_{см}]_б;$$

где $[T_n]$ — допускаемое усилие на один „срез“ нагеля

d_n — диаметр нагеля

$[\sigma_n]_n$ — допускаемое напряжение дубового нагеля

изгиб равное по нормам 143 $\frac{кг}{см^2}$

$[\sigma_{см}]_б$ — допускаемое бортовое напряжение смятия волокон нагельного гнезда равное по нормам

$$143 \frac{кг}{см^2}$$

\bar{a} — толщина крайнего элемента

c — толщина среднего элемента

$$K_{ср} = \frac{0,5}{1 + \frac{c}{K_n \cdot d_n}} = \frac{0,5}{1 + \frac{3}{1,1,5}} = 0,17$$

где: $K_n = 1$: — коэффициент зависящий от рода нагеля

$$(1) \quad [T_n]' = 0,4 \cdot 1,5^2 \sqrt{143^2} = 128,7 \text{ кг.}$$

$$(2) \quad [T_n]'' = 0,25 \cdot 1,5 \cdot 2,2 \cdot 143 = 118 \text{ кг.}$$

$$(3) \quad [T_n]''' = 0,17 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 143 = 109,4 \text{ кг.}$$

За расчетное принимаем меньшее из трех полученных значений, которое в данном случае равно 109,4 кг.

Допускаемая нагрузка на сопряжение равна по формуле

$$N_0 = 2 \cdot [T_n]_0''' \cdot n + 2 [T_n]_б';$$

где: n — количество нагелей

$[T_n]_0'''$ — допускаемое усилие на один „срез“ болтового нагеля $d_n = 6,35 \text{ мм.}$, которое принимаем по формуле

$$[T_n]_0''' = 0,25 \cdot a \cdot d_n \cdot [\sigma_{см}]_б = 0,25 \cdot 2,2 \cdot 0,635 \cdot 150 \approx 53 \text{ кг}$$

$$N_d = 2 \cdot 109,4 \cdot 4 + 2 \cdot 53 = 981 \text{ кг}$$

Описанный выше образец сопряжения на дубовых нагелях был изготовлен в трех экземплярах, которые были испытаны на растяжение на машине А. И. Амслера.

Действительное напряжение в среднем элементе образца при фактической нагрузке определено по формуле

$$\frac{N_0}{F_{\text{норм}}} = \frac{981}{(10 - 2.1,5) \cdot 3} \approx 47 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} < \left[90 \right] \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Сопряжение на дубовых нагелях

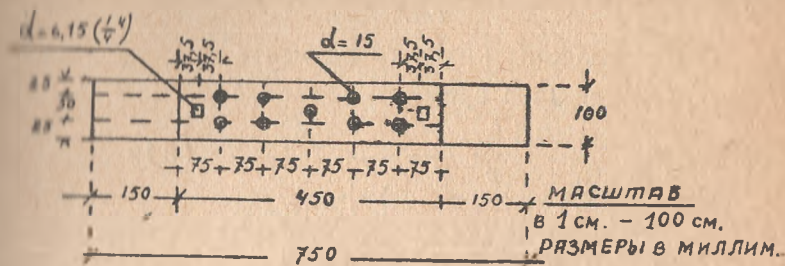


Рис. 3. Фасад.

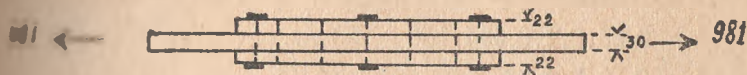


Рис. 4. План.

На рисунках №№ 3 и 4 показано сопряжение на дубовых нагелях:

Образец на болтовых нагелях. Образец выполнен из двух сосновых досок, с влажностью до 18%, сечением 30×100 мм., общей длиной 620 мм., поставленных торцами друг к другу и перекрытых накладками из сосны сечением 30×100 мм. По обе стороны стыка симметрично поставлено по семь болтов $d = 6,35$ мм. ($1/4''$) из которых только один болт имеет головку и гайку, а остальные поставлены без них. Расстояния между горизонтальными и вертикальными рядами болтов соблюдены следующие — полтора, два с половиной и пять диаметров.

Допускаемая нагрузка на сопряжение определена по формулам приведенным в Н и ТУП ДК — ОСТ — 90001 — 38 раздел VII стр. 28.

Усилие на один „срез“ болтового нагеля определено по тем же формулам.

$$(1) [T_n]' = 0,4 \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{[\sigma_n] \cdot [\sigma_{см}] \cdot \delta};$$

$$(2) [T_n]'' = 0,25 \cdot d_n \cdot a \cdot [\sigma_{см}] \cdot \delta;$$

$$(3) [T_n]''' = K_{ср} \cdot c \cdot d_n \cdot [\sigma_{см}] \cdot \delta;$$

$[T_n]$ — допускаемое усилие на один „срез“ нагеля

d_n — диаметр нагеля

$[\sigma_n]_n$ — допускаемое напряжение болтового нагеля на изгиб, равное по нормам $1400 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

$[\sigma_{д.м.}]_б$ — допускаемое бортовое напряжение смятия вдоль волокон нагельного гнезда принятое по нормам равным $150 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

a — толщина крайнего элемента

c — толщина среднего элемента

$$K_{ср} = \frac{0,5}{1 + \frac{c}{K_n \cdot d_n}} = \frac{0,5}{1 + \frac{3}{3 \cdot 0,635}} = 0,19$$

где: $K_n = 3$ — Коэффициент зависящий от рода нагеля —

$$(1) [T_n]' = 0,4 \cdot 0,635^2 \sqrt{1400 \cdot 150} = 73 \text{ кг.}$$

$$(2) [T_n]'' = 0,25 \cdot 2 \cdot 0,635 \cdot 150 = 53 \text{ кг.}$$

$$(3) [T_n]''' = 0,19 \cdot 3 \cdot 0,635 \cdot 150 = 54 \text{ кг.}$$

За расчетное принимаем меньшее из трех полученных результатов, который в данном случае равен 53 кг.

Допускаемая нагрузка на сопряжение определена по формуле

$$N_б = 2 \cdot [T_n] \cdot n;$$

где: n — количество нагелей по одну сторону стыка

$[T_n]$ — допускаемое усилие на один „срез“ болтового нагеля.

$$N_б = 2 \cdot 53 \cdot 7 = 742 \text{ кг.}$$

Описанный выше образец сопряжения на болтовых нагелях был изготовлено в трех экземплярах, которые были испытаны на растяжение на машине А. И. Амслера. Действительное (теоретическое) напряжение в среднем элементе образца для расчетной нагрузки определено по формуле.

$$\sigma_p = \frac{N_б}{F_{netto}} = \frac{742}{(10 - 3 \cdot 0,635) \cdot 3} \approx 30,6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} < \left[90 \right] \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

На рисунках №№ 5 и 6 показано сопряжение на болтовых нагелях.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Всего было испытано на растяжение на машине А. И. Амслера семь образцов, из которых три сопряжения на гвоздях, два сопряжения на дубовых нагелях и два сопряжения на болтовых нагелях. Одно из сопряжений на гвоздях было испытано как проб

Сопряжение на болтах.

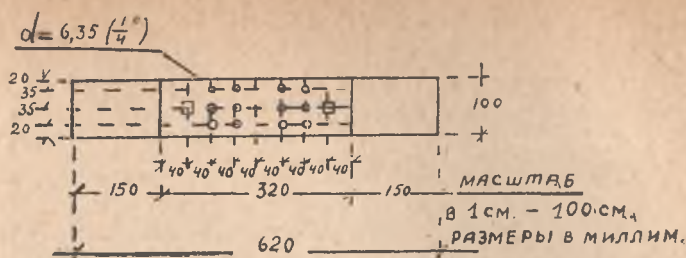


Рис. 5. Фасад.

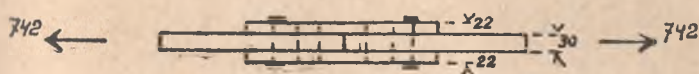


Рис. 6. План.

ное, причем описание результатов этого пробного испытания сделано отдельно и не вошло в помещаемый ниже материал. Все образцы были испытаны на растяжение в машине А. И. Амслера на нагрузки 1000, 1500, 2000, 2500 и 3000 кг последовательным порядком и доведены до разрушения. После каждой нагрузки были отмечены деформации в образцах в восьми точках — по четыре точки на каждую сторону стыка. Всего в каждом образце на гвоздях и болтовых нагелях было отмечено деформации в сорока восьми точках, а в образце на дубовых нагелях в сорока точках. Деформации замерены с точностью до 0,125 мм. Следует отметить, что практически при исследовании работы целого сопряжения в дереве, достаточная точность для измерения деформации это 0,5 мм. В результате испытаний были получены деформации каждого образца и записаны в таблицу на основании которой построено шестьдесят девять кривых зависимости деформации от нагрузки, причем характер кривых полученных в результате произведенных измерений близко совпал с характером кривых полученных непосредственно на машине А. И. Амслера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

После обработки первичного материала испытаний построены кривые зависимости деформаций от нагрузки для каждого вида сопряжений, на основании которых построены диаграммы работы для каждого вида сопряжений из следующего расчета.

Коэффициентом запаса в данном случае следует считать частное от деления предельной допускаемой нагрузки для данного вида сопряжения, на расчетную нагрузку определенную выше.

согласно формул для расчета нагельных сопряжений, приведенных в *H* и ТУП ДК—ОСТ—38. Предельная нагрузка определена непосредственно по кривой с учетом возможного допускаемого сдвига, (в результате податливости связей) не превышающего одного миллиметра, что предусмотрено в § 204 ТУ *H* на ДС и С—1931 г. и практически не растривает работ сопряжения.

Кривая зависимости деформаций от нагрузок.
Сопряжение на гвоздях. Среднеарифметическая образцов 1 и 2.

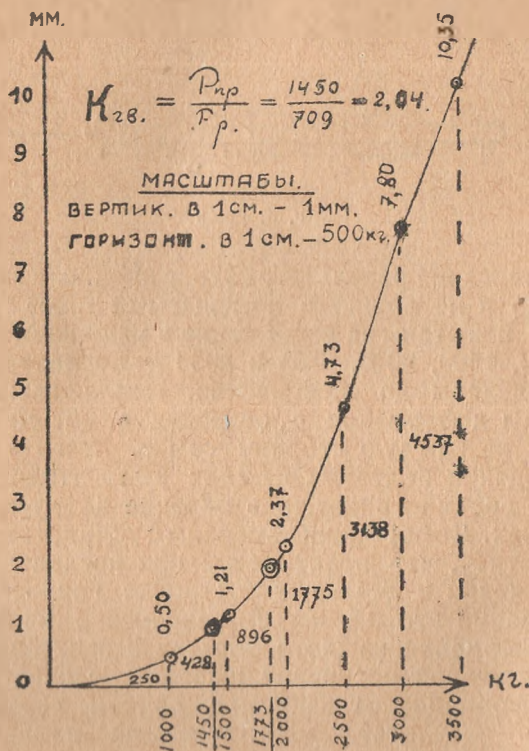


Рис. 7.

На рисунках №№ 7, 8 и 9 приведены кривые зависимости деформаций от нагрузок, а на рисунках №№ 10, 11 и 12 показаны диаграммы работы сопряжений.

Согласно указанного выше способа определения коэффициента запаса имеем:

для сопровождения на гвоздях

$$K_{гв.} = \frac{P_{пр.}}{P_p} = \frac{1450}{709} = 2,04;$$

для сопряжения на болтовых нагелях

$$K_{б.} = \frac{P_{пр.}}{P_p.} = \frac{1225}{742} = 1,65;$$

для сопряжения на дубовых нагелях

$$K_{д.} = \frac{P_{пр.}}{P_p.} = \frac{1625}{981} = 1,65;$$

**Кривая зависимости деформаций от нагрузок.
Сопряжение на болтовых нагелях средне-арифметическая
деформация образцов 4 и 6.**

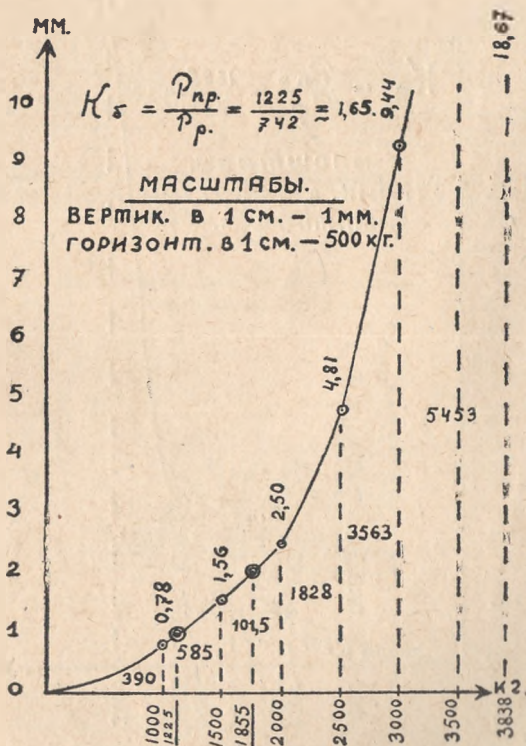


Рис. 8.

На сравнения приведенных выше коэффициентов запаса имеем наибольший коэффициент запаса в сопряжении на гвоздях, а в сопряжениях на болтах и дубовых нагелях имеем коэффициент запаса меньшим на 23%, чем коэффициент запаса для сопряжения на гвоздях.

Для получения характеристики работы каждого вида сопряжений построены диаграммы работы для каждого вида сопря-

жений, на основании кривых зависимости деформации от нагрузок. Расчетные нагрузки для каждого вида сопряжений максимально разнятся между собой на 38%, а работа сопряжений при нагрузке превышающей расчетную в два с половиной раза

Кривая зависимости деформаций от нагрузок.
Сопряжение на дубовых нагелях средне-арифметическая деформация образцов 3—5.

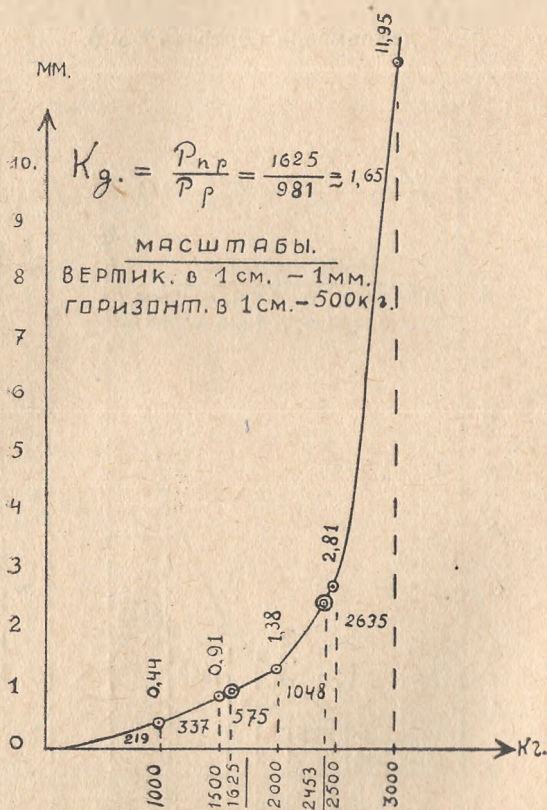


Рис. 9.

разнятся максимально на 88%. Характерно отметить, что у сопряжения на гвоздях, при большом коэффициенте запаса, наименьшая работа сопряжения и наоборот в сопряжениях на болтах дубовых нагелях при меньшем коэффициенте запаса, работа сопряжений большая и особенно в сопряжении на дубовых нагелях.

В таблице № 1 приведены данные о коэффициентах запаса работе всех трех видов сопряжений.

Диаграмма работы сопряжения
на гвоздях

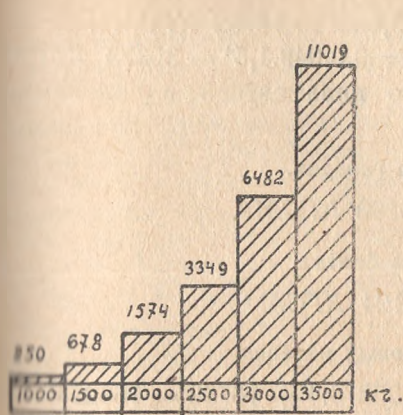


Рис. 10. Работа сопряжения показана
в килограмм-момиллиметрах.

Диаграмма работы сопряжения
на болтовых нагелях.

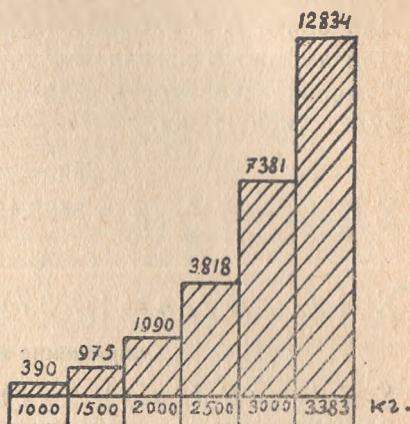


Рис. 11. Работа сопряжения показана
в килограмм-момиллиметрах.

Диаграмма работы сопряжения
на дубовых нагелях.

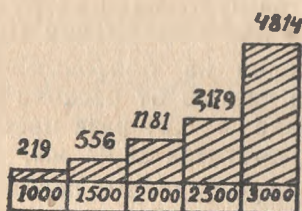


Рис. 12.

Таблица № 1.

Вид сопряжения	Коэффициент запаса $\frac{P_{np}}{p_p}$ при дефор. в один м.м.	Работа сопряж. в Кгмм при нагрузке большей в 2,5 раза расч.	Примечание
На гвоздях	2,04	1079	
На болтах	1,65	1642	
На дубовых нагелях	1,65	2039	

Ниже приведены жесткости $E J$ для каждого вида крепежных средств, а именно:

Для гвоздя $E J_{гв.} = 21.00.000.0,049.0,43^4 = 3528 \text{ КГСМ}^2$

Для болта $E J_{б.} = 21.00.000.0,049.635^4 = 16732 \text{ КГСМ}^2$.

Для дубового нагеля $E J_{д.} = 142600.0,049.1,5^4 = 35373 \text{ КГСМ}^2$

Суммарная жесткость для каждого вида связей в сопряжении будет следующая.

Сопряжение на гвоздях.

$$\Sigma E J_{гв.} = E J_{гв.} n = 3528.10 = 35280 \text{ КГСМ}^2.$$

Сопряжение на болтах.

$$\Sigma E J_{б.} = E J_{б.} n = 16732.7 = 117124 \text{ КГСМ}^2$$

Сопряжение на дубовых нагелях.

$$\Sigma E J_{д.} = E J_{д.} n_{д.} + E J_{б.} n_{б.} = 35373.4 + 16732 = 158224 \text{ КГСМ}^2.$$

Суммарная жесткость связей в сопряжении на гвоздях меньше чем жесткость связей в сопряжениях на болтах и дубовых нагелях в два и в три с лишним раза, но работа сопряжения лучше (большой коэффициент запаса и наименьшая работа), что следует отнести за счет плотности сопряжения на гвоздях.

Разрушение образцов сопряжений на гвоздях произошло от разрыва дерева, при разрушающей нагрузке в 4,94 раза превышающей расчетную и при деформации 10,35 мм.

Образцы сопряжений на болтовых нагелях разрушились частью от разрыва, а частью от раскола по линии болтов, при разрушающей нагрузке в 5,24 раза превышающей расчетную при этом деформация достигла 18,67 мм.

Образцы сопряжения на дубовых нагелях разрушились исключительно от раскола и выкалывания по линии дубовых нагелей при разрушающей нагрузке в 2,9 раза превышающей расчетную и при деформации 11,95 мм.

Из приведенных данных о разрушении образцов следует отметить, что сопряжение на гвоздях дало, относительно других сопряжений, наименьшую деформацию и разрушилось при нагрузке в пять раз превышающей расчетную.

Учитывая, что сопряжение на гвоздях, является наиболее плотным и наиболее устойчивым сопряжением, в сравнении с другими сопряжениями, а также существенную конструктивную особенность гвоздевого сопряжения, как то наличие шляпки гвоздей и загнутых концов гвоздей, следует сделать вывод, основанный на приведенных данных испытания и исследования, что расчетные формулы для сопряжения на гвоздях, данные в ИТУ и ДК—ОСТ—90001—38 обеспечивают безопасность таких сопряжения в конструкции (Нормы 1938 г. против норм ИТУ и ДК увеличивают запас гвоздевого сопряжения на 47%).

Если сопоставить данные о работе сопряжений на болтах и дубовых нагелях, то становится очевидным, несоответствие данных расчета по формулам, действительной работе сопряжений.

Если сопряжение на дубовых нагелях, при нагрузке в два раза превышающей расчетную, дает одинаковую деформацию с сопряжением на болтах также нагруженным, то при увеличении расчетной нагрузки до двух с половиной раз, деформация сопряжения на дубовых нагелях обгоняет деформацию сопряжения на болтах на 18%, а при нагрузке, превышающей расчетную в 2,9 раза разрушается, тогда как сопряжение на болтах только разрушается при нагрузке превышающей расчетную в 5,24 раза. Если сравнить жесткость скрепляющих связей в сопряжении на дубовых нагелях, жесткостью скрепляющих связей в сопряжении на болтах, то последняя будет меньше на 35%.

Из этого следует, что работа сопряжения на болтах и дубовых нагелях, очевидно зависит от жесткости скрепительных связей, так как сопряжение при жестких связях разрушается интенсивнее.

О КОЭФИЦИЕНТЕ ЖЕСТКОСТИ $K_{ж}$.

Для определения величины коэффициента $K_{ж}$. составлена таблица допускаемых усилий и жесткостей для болтов и дубовых нагелей, а также построены кривые зависимости жесткости от допускаемого усилия для диаметров болтов от $1/4''$ до $1''$ и дубовых нагелей от $0,5\text{ см}$ до $2,5\text{ см}$, как наиболее часто встречающихся в строительной практике.

Из сопоставления кривой болтового нагеля с кривой дубового нагеля, очевидно, что допускаемое усилие для болтового нагеля имеет зависимость от жесткости существенно отличающуюся от такой же зависимости для дубового нагеля.

Из этого следует, что коэффициент $K_{ж}$. должен иметь разное значение для болта и для дубового нагеля. Характер кривых зависимости жесткости от допускаемого усилия отвечает уравнением квадратной параболы, а именно:

для болтового нагеля

$$y = \frac{1}{8} \cdot x^2$$

для дубового нагеля

$$y = \frac{1}{16} \cdot x^2.$$

Очевидно, что от той точки кривой, где касательная составляет с осью абсцисс угол 45° , жесткость будет расти быстрее, (или допускаемое усилие). Такие точки на кривых можно найти, если первую производную от уравнения кривой приравнять

$$t_{45^\circ} = 1;$$

Допускаемые усилия и жесткостей болтового и дубового нагелей

Б о л т о в ы й н а г е л ь		Д у б о в ы й н а г е л ь	
Диаметр	$[T_H] = 0,4 d_H^2 \cdot \sqrt{[\sigma_{H,K}] \cdot [\sigma_{сж}] \delta}$	Диаметр в сантиметрах	$[T_H] = 0,4 d_H^2 \cdot \sqrt{[\sigma_{H,K}] \cdot [\sigma_{сж}] \delta}$
Сантиметры	$EJ = кгс\cdot м^2$		$EJ = кгс\cdot м^2$
Дюймы	$E = 21 00000 \text{ кг/см}^2$ $J = 0,049 d_H^4$		$E = 142600 \text{ кг/см}^2$ $J = 0,049 d_H^4$
1/4	73	0,5	437
3/8	166	1,0	6987
1/2	302,3	1,25	17112
5/8	458	1,50	35373
3/4	660	2,0	111798
7/8	905	2,25	178963
1	1181	2,50	272360

то даст для болтового нагеля точки с координатами

$$x = 4 \text{ и } y = 2,$$

$$\left(y = \frac{1}{8} x^2; \quad y' = \frac{2}{8} x; \quad l = \frac{1}{4} x; \quad x = 4;$$

$$y = \frac{1}{8} 4^2; \quad y' = \frac{16}{8} = 2; \right),$$

для дубового нагеля точки с координатами

$$x = 8; \quad y = 4$$

$$\left(y = \frac{1}{16} x^2; \quad y' = 2 \frac{1}{16} x; \quad y' = \frac{1}{8} x; \quad l = \frac{1}{8} x;$$

$$x = 8; \quad y = \frac{1}{16} 8^2; \quad y' = \frac{64}{16} = 4; \right).$$

Таким образом, как до Абсцисс:

для болтового нагеля $x = 4$ и

„ дубового „ $x = 8,$

так и после, допускаемое усилие на один „срез“ нагеля растет, в первом случае больше чем жесткость, а во втором случае меньше чем жесткость, поэтому на этих участках кривых теоретически необходима поправка на непропорциональность между допускаемым усилием и жесткостью. Из результатов испытаний образцов видно, что сопряжение с менее жесткими крепежными средствами, разрушаются при нагрузке в пять раз превышающей полученную по расчетным формулам, а с более жесткими крепежными средствами, разрушаются при нагрузке только в три раза превышающей полученную по расчетным формулам.

Таким образом жесткость крепежных средств, в частности болтов и дубовых нагелей, прямо пропорциональна диаметру нагеля, также как и допускаемое усилие, пропорциональна при этом только определенному диаметру, а при всех других диаметрах непропорциональна допускаемому усилию.

Теоретически такая поправка должна зависеть от тангенса угла касательной в любой точке кривой. В таблице № 3 приведены значения тангенсов для точек кривых болтового и дубового нагелей, отвечающих определенным диаметрам.

Из таблицы № 3 видно, что для болтового нагеля с диаметром $\frac{3}{8}$ ”, а для дубового нагеля с диаметром 2,25 см следует ввести поправочные коэффициенты, равные по величине обратному значению тангенса для данного диаметра, по кривой на рисунке 14.

Кривая зависимости жесткости от допускаемого усилия на один "срез" нагеля.

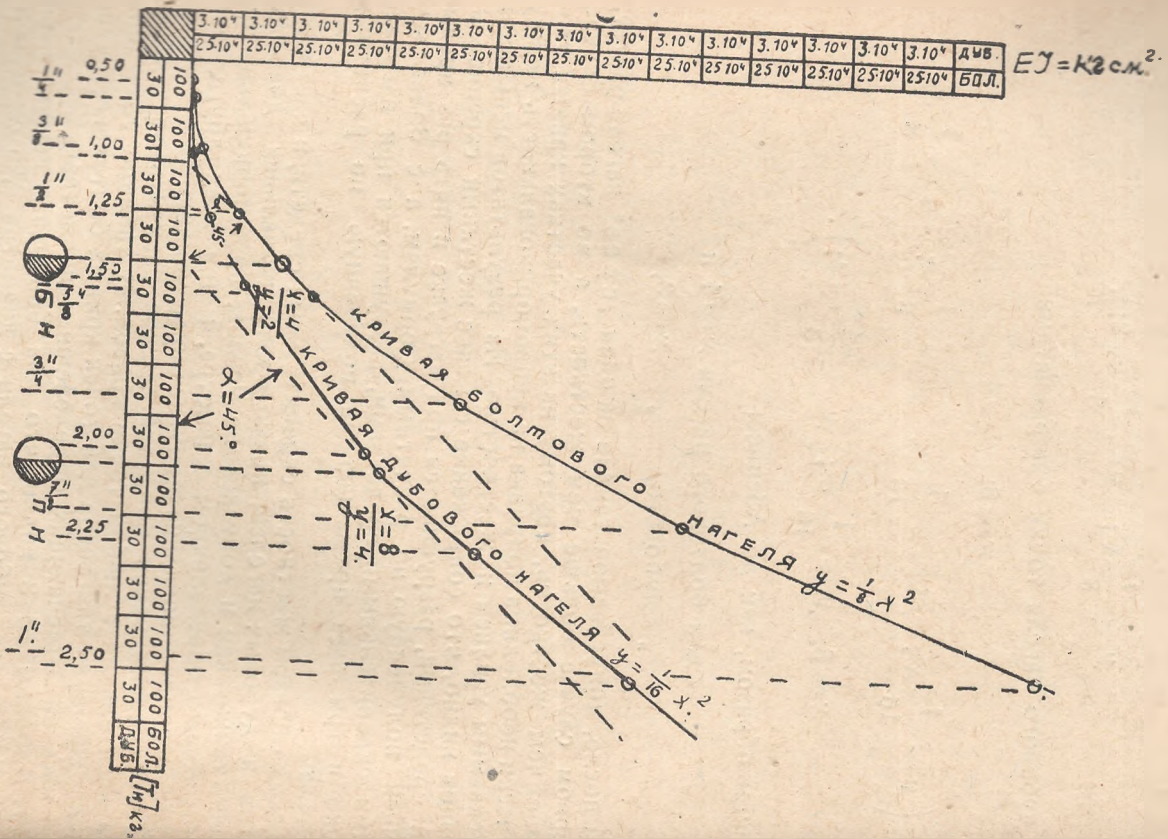


Рис. 14.

Тангенсов углов составленных касательными с окружностями в точках отстояющих от центра на
диаметрам нагелей

Дубовый нагель			Болтовой нагель		
Диаметр	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2x$	α	Диаметр	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2x$	α
0,50	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 0,48 = 0,06$	4°	1/4"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 0,73 = 0,18$	10°
1,00	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 1,91 = 0,24$	14°	3/8"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 1,66 = 0,41$	22°
1,25	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 2,97 = 0,36$	20°	1/2"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 3,02 = 0,75$	37°
1,50	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 4,3 = 0,54$	28°	5/8"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 4,58 = 1,15$	49°
2,0	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 7,63 = 0,95$	44°	3/4"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 6,60 = 1,65$	59°
2,25	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 9,5 = 1,20$	50°	7/8"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 9,05 = 2,26$	66°
2,50	$y^1 = \frac{1}{16} \cdot 2 \cdot 11,93 = 1,49$	56°	1"	$y^1 = \frac{1}{8} \cdot 2 \cdot 11,81 = 2,95$	71°

В таблице № 4 приведены теоретические значения этих коэффициентов.

Таблица 4

Болтовой нагель			Дубовый нагель		
Диаметр	Значение тангенса	Величина коэф.ц.	Диаметр	Значение тангенса	Величина коэф.ц.
$\frac{3}{8}$ "	1,15	0,87	—	—	—
$\frac{3}{4}$ "	1,65	0,61	—	—	—
$\frac{7}{8}$ "	2,26	0,44	2,25	1,20	0,835
1"	2,95	0,345	2,50	1,49	0,67

В целях полной проверки приведенных выше соображений о работе сопряжений на болтах и дубовых нагелях, а также для установления практического коэффициента жесткости для различных диаметров, следует произвести испытания сопряжений для каждого вида крепежных средств и диаметров наиболее часто встречающихся на практике.

Результаты испытаний приведенные в журнале „Новости техники“ № 108 за 1934.

Ниже приведены выдержки из статьи реферанта А. Р. Махович, помещенной в журнале „Новости техники“ № 108 за 1934 г. „Сопротивление сопряжений деревянных конструкций знакопеременной нагрузке“. Институтом испытания материалов в Штутгартене были испытаны стыки деревянных брусков, устроенные при помощи стальных нагелей и кольцевых вкладышей.

Поставлены были три серии опытов. Первая серия—нагель диаметром 17 мм и материал—сосна, вторая серия—нагель диаметром 8 мм и материал пихта и третья серия—кольцевые шпонки из дуба и материал—пихта.

Опыты произведены по каждой серии над пятью образцами. Среднее содержание влаги в дереве к моменту испытаний образцов первой серии около 16%, а второй и третьей около 15%. При производстве испытаний, в каждой серии один образец подвергался сперва обыкновенному испытанию на растяжение, с доведением растягивающей нагрузки P постепенно до разрыва стержня. Остальные стержни подвергались действию знакопеременной нагрузки, менявшейся приблизительно около восьми раз в минуту. Образцы были подвергнуты действию нагрузки соответствующей равномерно—распределенному напряжению в гнездах нагелей равному 100 кг/см^2 . Соответствующие удлинения образцов составляли: по I серии—1,8 мм, по II серии—3,1 мм, по III серии—2,3 мм; таким образом при равных условиях, сопряжение со стальными нагелями диаметром 17 мм показало наименьшее удлинение, за ним следует сопряжение с кольцевыми шпонками. Сопряжение на 8 мм стальных нагелях дало наибольшее удлинение.

Что касается знакопеременной нагрузки, то в первой серии нагели выходили постепенно из своих отверстий, так что по истечении некоторого времени многие нагели уже не связывали стиковых накладок с соединяемыми брусками. Кроме того было обнаружено отставание накладок от внутренних соединяемых брусков. Для предотвращения отставания накладок, стыки второй серии были снабжены болтами диаметром 13 мм, но это все же не спасло от постепенного вылезания нагелей из своих отверстий. При почти одинаковых напряжениях сжатия в гнездах, стыки на кольцевых шпонках серии III, дали меньшие удлинения, эти соединения выдержали также большее количество изменений нагрузки, чем сопряжения с 8 мм нагелями серии III.

В результате испытаний оказалось, что образец серии I был разрушен при нагрузке превышающей 1,3 раза допускаемую. Образец серии II выдержал более 50000 перемен нагрузок при $P = 6600$ кг и не был разрушен, при этом нагрузка составляла 1,4 допускаемой. Другой образец серии II был разрушен после 15192 перемен нагрузок при $P = 9900$ кг, т. е. при нагрузке составляющей в 2,1 раза допускаемой. Образец серии III выдержал 6000 кг, 9900 кг и 14800 кг при 50000 переменных нагрузках без разрушения при нагрузке в 2,1 раза больше допускаемой. На основании результатов испытания образцов можно вывести следующее заключение. Сопряжения серии I с 17 мм стальными нагелями без стяжных болтов дали, по сравнению с допускаемой нагрузкой, наименьший запас прочности. За ними следуют сопряжения серии III с 8 мм стальными нагелями со стяжными болтами. Наивысший запас прочности дали сопряжения серии III на кольцевых вкладышах со стяжными болтами.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных и теоретических исследований симметричных сопряжений на дубовых, болтовых нагелях и гвоздях с деревянными накладками на растяжение, можно сделать следующие выводы.

1) Подвергнутые испытаниям симметричные сопряжения с деревянными накладками на дубовых, болтовых нагелях и гвоздях дали при деформации сопряжения в один миллиметр, следующие коэффициенты запаса: гвозди—2,04, дубовые и болтовые нагели 1,65.

Наибольший коэффициент запаса дало сопряжение на гвоздях, что объясняется особенностями гвоздевого сопряжения, ибо крепежные средства—гвозди имеют шляпки и загнутые концы, а это дает большую плотность и связанность сопряжения и максимальные силы трения при работе сопряжения.

2) Формулы для расчета нагельных сопряжений данные в формах и технических условиях проектирования деревянных конструкций ОСТ—90001—38 г. раздел VII в сравнении с ТУ и Н

на ДК—1931 г. снижают допускаемые усилия на один „срез“ гвоздя на 32% и болта на 21,5%, но увеличивают допускаемое усилие на один „срез“ дубового нагеля на 0,5%. Таким образом запас прочности для сопряжения на болтах и особенно сопряжения на гвоздях увеличен. Но этого нельзя сказать о сопряжениях на дубовых нагелях, где запас прочности остался почти таким же, как и в нормах 1931 г.

Расстояние между осями нагелей по нормам 1938 г. против норм 1931 г. увеличилось для болтов и дубовых нагелей вдоль и поперек волокон на 20% и для гвоздей только вдоль волокон увеличено на 25%.

В данных расчетных формулах по нормам 1938 г. допускаемое усилие на один „срез“ нагеля увеличивается прямо пропорционально диаметру нагеля, что с увеличением жесткости крепежных средств не увеличивает, а уменьшает запас прочности сопряжения, особенно при больших допускаемых усилиях.

3) Результаты произведенных испытаний отдельных нагельных сопряжений, как автором настоящей работы, так и заимствованные из журнала „Новости техники“ № 108 за 34 г., показывают, что при наличии больших диаметров крепежных средств, в частности болтов и дубовых нагелей, допускающих по расчетным формулам и большие усилия на один „срез“ нагеля, в сопряжениях снижается запас прочности, несмотря на увеличение жесткости самих крепежных средств. Такое явление следует объяснить прежде всего неоднородностью материалов сплавляемых (сопрягаемых) элементов и крепежных средств, что дает в первую очередь разрушение сплавляемых элементов, так как имеется диспропорция в росте допускаемого усилия на один „срез“ нагеля с фактическим напряжением в сплавляемых элементах. Кроме этого с увеличением диаметра крепежных средств, снижается прочность сплавляемых элементов, за счет их ослабления, что следует отнести за счет диспропорции между ростом расстояний между нагелями и увеличением допускаемого усилия на сопряжение, а значит и фактическим напряжением в элементах сопряжения.

Учитывая такое несоответствие, для болтового нагеля с диаметром $\frac{5}{8}$ " , а для дубового нагеля с диаметра 2,25 см, следует ввести в расчетные формулы, так называемый коэффициент жесткости *Кж.*, согласно таблицы № 4, причем в данном случае *Кж.* вычислен для болтового нагеля с $\frac{5}{8}$ " до 1", а для дубового нагеля с 2,25 см, как для диаметров наиболее встречающихся на практике.

Сопряжения на гвоздях следует рассматривать особо от всех остальных нагельных сопряжений, ибо работа гвоздей, имеющих шляпки и загнутые концы, резко отличается от работы других нагельных средств, что также подтверждают результаты испытаний приведенные в настоящей работе. •

Для обеспечения гвоздевого сопряжения большей жесткостью, следует рекомендовать двухстороннюю забивку гвоздей в шахматном порядке.

Примечание: При составлении настоящей работы были использованы следующие материалы и литература:

- 1) Материалы по испытанию образцов нагельных сопряжений произведенных автором настоящей работы в Краснодарском инженерно-строительном институте в 1935 г.
 - 2) ТУ и Н на ДК и С—1931 г.
 - 3) Н и ТУП ДК—ОСТ—90001—38 г.
 - 4) Отчет „исследование сопряжений на нагелях“ инж. А. В. Лентяшина и техника В. П. Волжина—1935 г. ЦНИПС—НКТП—СССР—Лаборатория деревянных конструкций.
 - 5) Журнал „Новости техники“ № 108—1934 г.
-